

УДК 631.371:621.311.4

**О.А. Головач, В.В. Викторovich**  
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)

**А.И. Михлюк**

(РУП «МАЗ», г. Минск, Республика Бела-  
русь)

## **ТРАНЗИСТОРНЫЕ ПРЕОБРА- ЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИИ: ОТ ИДЕИ ДО ВНЕДРЕНИЯ**

### **Введение**

Установки индукционного нагрева находят все большее применение в различных отраслях промышленного и сельскохозяйственного производства благодаря появлению энергоэффективных транзисторных источников питания, работающих в диапазоне до 1 МГц. Разработка и производство таких генераторов в Республике Беларусь является очень важной задачей, решение которой позволит ликвидировать возникшее отставание в отрасли техники, связанной с технологиями индукционного нагрева.

### **Объекты и методы исследований**

Объектом настоящего исследования являлся полупроводниковый источник питания на базе IGBT транзисторов номинальной мощностью до 250 кВт частотой преобразования 2,4–10 кГц. В работе для решения поставленных задач использовались абстрактно-логический и расчетно-конструктивный методы.

### **Основная часть**

В 2008 году специалистами лаборатории РУП «МАЗ» и лаборатории электрооборудования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» был проведен мониторинг состояния индукционного термического оборудования на наиболее крупных предприятиях Министерства промышленности РБ. Анализ полученных данных показал, что в настоящее время на промышленных предприятиях Республики Беларусь эксплуатируется более 1200 единиц оборудования индукционной термообработки. Половина индукционного оборудования РБ находится на крупных предприятиях – МТЗ, МАЗ (г. Минск), «Автогидроусилитель» (г. Борисов), ОАО «Белкард» (г. Гродно), ПО «Гомсельмаш» (г. Гомель).

По типам используемые генераторы распределены следующим образом: около 50% – это машинные генераторы, 38% – ламповые, 10% – тиристорные и 3% – транзисторные генераторы (рисунок 47).

Машинные преобразователи являются источниками устаревшей конструкции и в настоящее время постепенно выводятся из эксплуатации. В настоящее время в странах СНГ имеются сведения о двух производителях преобразователей данного типа: РФ, г. Новосибирск, НПО «ЭЛСИБ» и ДАГЗЭТО, г. Избербаш, Республика Дагестан. Оба производителя выпускают преобразователи вертикального типа – электродвигатель и генератор скомпонованы на одном валу, установленном вертикально в общем корпусе.

Основная область применения ламповых преобразователей – работа с индукционными устройствами для нагрева деталей при закалке, а также для пай-

ки, наплавки. Ламповые преобразователи частоты (высокочастотные генераторы) выпускаются мощностью от 25 до 160 кВт и частотой от 66 кГц до 13 МГц.

Выпускается несколько моделей ламповых преобразователей такой мощности. Одним из главных недостатков лампового преобразователя является его низкий к.п.д. При оптимальных режимах нагрева он составляет 73–78%, фактически в реальных условиях он может снижаться до 50%. Ресурс ламп не превышает 5000 часов.

Тиристорные преобразователи в настоящее время выпускает целый ряд производителей – в Российской Федерации это г. Санкт-Петербург, Екатеринбург, Уфа, Новозыбков, Ржев; г. Таллинн в Эстонии, в Украине – г. Мелитополь.

Диапазон выпускаемой продукции очень широк. По выдаваемой мощности – от 100 до 10 000 кВт, по рабочей частоте – от 150 до 10 000 Гц. Исполнение современного тиристорного преобразователя включает в себя: преобразователь, теплообменник, систему контроля и управления, согласующее оборудование (по необходимости). К.п.д. тиристорного преобразователя выше, чем машинного (как на холостом ходу, так и под нагрузкой) и составляет 0,85...0,9.

Транзисторные преобразователи являются наиболее современными полупроводниковыми устройствами и высокоэффективной заменой машинных и ламповых.

К.п.д. транзисторного преобразователя наиболее высокий и может достигать значений 0,95...0,97.

Срок эксплуатации основной массы оборудования – более 15 лет, причем более 50% его эксплуатируется более 20 лет (рисунок 48). По степени износа оборудование подразделяется на следующие группы: около 70% имеет 100% износа, 20% – износ более 50% и 10% изношено менее чем на 50% (рисунок 49). Анализ закупок индукционного оборудования показывает (рисунок 50), что из запланированных закупок генераторов около 50% – это транзисторные генераторы, 40% – тиристорные, около 15% из них – отечественного производства.

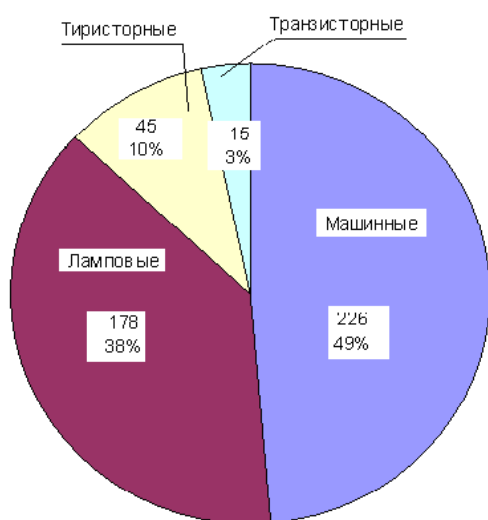


Рисунок 47 – Типы преобразователей частоты на предприятиях РБ

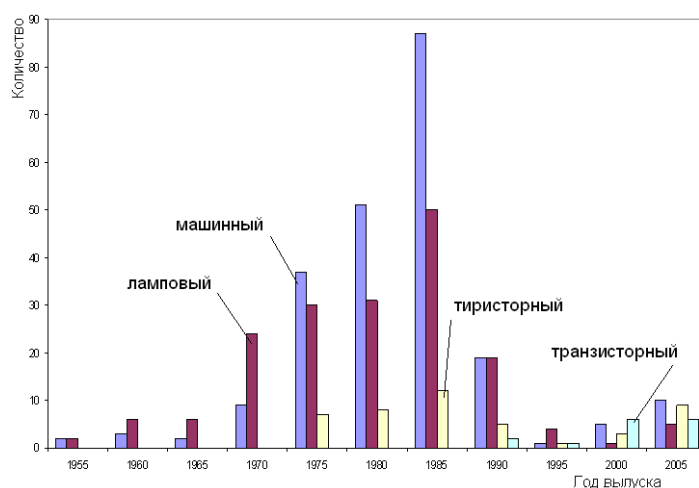
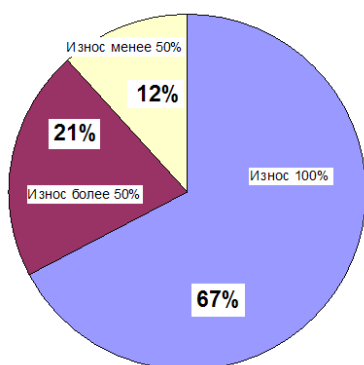


Рисунок 48 – Количественный состав преобразователей частоты на промышленных предприятиях РБ по годам выпуска



**Рисунок 49 – Процентное соотношение индукционного оборудования по степени износа**



**Рисунок 50 – Структура закупаемых преобразователей частоты по типам**

Основным поставщиком нового индукционного оборудования в РБ является Россия. Более 60% планируемого к закупке оборудования – это продукция ОАО «Элсиб», г. Новосибирск; завода «Индуктор», г. Новозыбков; НПП «Курай» и НПО «Параллель», г. Уфа; «Рэлтек», г. Екатеринбург; ООО «Интерм», г. Санкт-Петербург и др. Около 20% планируемого к закупке индукционного оборудования – производства других стран (Германии, Испании, Эстонии и др).

#### Результаты исследований

Исходя из приведенного анализа состояния индукционного оборудования в Республике Беларусь, специалистами РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» осваивается производство транзисторных преобразователей частоты мощностью 250 кВт и частотой генерации 2,4 кГц, 8,0 кГц, 10 кГц.

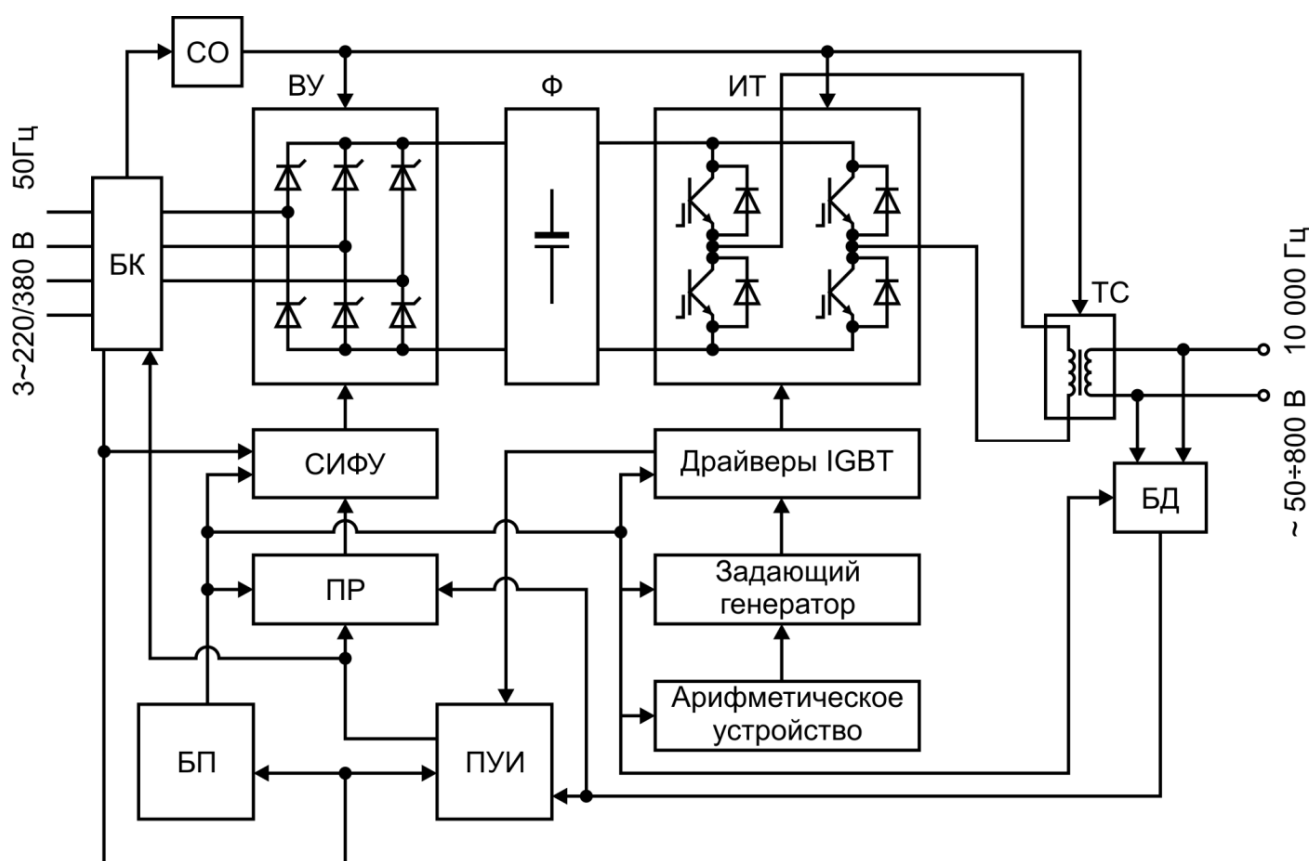
Разработка и изготовление опытных образцов выполняются в рамках Государственной программы импортозамещения «Разработать и освоить производство полупроводникового генератора колебательной мощностью до 250 кВт (далее по тексту – генератор) для электротермической ТВЧ технологии» (договор № 08.03 от 12 мая 2008 г.)».

Основные технические данные преобразователя приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Технические характеристики преобразователя

Наименование показателя	Значение
Питающая сеть	3~220/380 В, 50 Гц
Колебания питающего напряжения и частоты	По ГОСТ 13109–87
Выходное напряжение, В	50÷800
Частота переменного тока, Гц	2,4/8,0/10,0
Форма выходного напряжения	прямоугольная
Номинальная мощность на выходе, кВт, не более	250
Максимальная потребляемая мощность, кВт, не более	320
Максимальный выходной ток, А, не более	320
Габаритные размеры, мм, не более	2000x800x600
Масса преобразователя, кг, не более	200
КПД, %, не менее	90
Сos φ при номинальной мощности, не менее	0,8
Охлаждение	водяное, расход охлаждающей воды (при давлении не менее 0,15 МПа) не более 1,5 м <sup>3</sup> /ч

Разработанный преобразователь состоит из следующих составных частей и блоков:



- БК – блок коммутации;
- СО – станция охлаждения;
- ВУ – блок выпрямителя управляемого;
- БК – блок конденсаторов;
- ИТ – блок инвертора транзисторного;
- ТС – трансформатор согласующий;
- БД – блок датчиков выходных параметров;
- СИФУ – система импульсно-фазового управления;
- ПР – плата регулирования;
- БП – блок питания;
- ПУИ – панель управления и индикации

**Рисунок 51 – Функциональная схема преобразователя**

*Блок коммутации.* БК предназначен для подачи и снятия сетевого напряжения на вход ВУ и БП.

БК включает в себя силовой автоматический выключатель с независимым расцепителем, дифференциальный автомат, реле и автомат защиты.

*Блок питания БП и плата контроля питания ПКП.* БП содержит четыре стандартных модуля питания, позволяющих получить необходимые стабилизированные напряжения питания основных блоков агрегата.

Плата контроля питания контролирует наличие и уровень напряжений БП с выдачей при необходимости сигнала блокировок.

*Пульт управления и индикации.* ПУИ содержит кнопки включения-выключения выходного напряжения преобразователя, кнопку аварийного отключения, потенциометр задания выходного напряжения, приборы индикации выходных параметров выпрямителя и агрегата, а также лампочки индикации основных режимов работы преобразователя.

Все элементы ПУИ расположены на двери шкафа преобразователя. Там же расположен универсальный измерительный прибор UMG96.

*Выпрямитель управляемый.* Предназначен для преобразования входного трехфазного переменного напряжения в регулируемое постоянное.

ВУ состоит из трехфазного мостового полууправляемого выпрямителя. Для ограничения токов короткого замыкания и подавления помех в питающую сеть на входе ВУ установлен трехфазный реактор.

Управление тиристорами ВУ осуществляется от платы СИФУ через специальные драйверы форсировки управляющих импульсов.

Сигнал управления на плату СИФУ поступает от платы регулирования, анализирующей сигналы задания и обратных связей.

Конструктивно плата регулирования расположена на ПУИ.

*Блок инвертора транзисторного.* БИТ предназначен для преобразования входного постоянного напряжения в однофазное переменное частотой 2400–10 000 Гц, прямоугольное по форме.

БИТ состоит из однофазного мостового инвертора, выполненного на транзисторных IGBT модулях, и конденсаторов фильтра БК.

На каждом транзисторном модуле расположены платы защиты от перенапряжений и платы драйверов.

Плата задающего генератора формирует две последовательности импульсов управления драйверами и «мертвое время», необходимое для безаварийной работы инвертора. Здесь же анализируются сигналы ошибки с каждой платы драйвера и вырабатывается общий сигнал «авария инвертора», поступающий на БК и приводящий к аварийному выключению преобразователя.

На охладителе транзисторных модулей установлены термореле, при срабатывании которых происходит отключение реле «Нагрев».

*Трансформатор согласующий.* ТС предназначен для повышения в 1,5 раза переменного однофазного напряжения частотой 2,4/8,0/10,0 Гц, поступающего с выхода БИТ.

Общий вид транзисторного преобразователя частоты мощностью 250 кВт и частотой генерации 2,4 кГц, 8,0 кГц, 10 кГц представлен на рисунке 52.



**Рисунок 52 – Общий вид преобразователя**

Разработанное и изготовленное оборудование внедрено в РУП «МТЗ», РУП «МАЗ», РУП «МЗОР», ОАО «Бобруйскагромаш», ОАО «Бобруйский завод ТДиА».

В настоящее время идет освоение производства полупроводникового преобразователя мощностью до  $160 \text{ кВт}$  и частотой генерации  $18 \dots 66 \text{ кГц}$ .

### **Заключение**

Таким образом, проведенный анализ преобразователей частоты и индукционного оборудования показывает большое разнообразие производителей и конструкций оборудования. При этом основными производителями индукционного оборудования являются предприятия РФ.

Индукционное оборудование должно быть укомплектовано полупроводниковыми преобразователями отечественного производства.

Разработанные и освоенные специалистами РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» транзисторные преобразователи частоты мощностью до 150 кВт и частотой генерации 2,4–10,0 кГц позволяют не только увеличить скорость нагрева детали и добиться снижения затрат труда, но и уменьшить энергопотребление при внедрении преобразователя по сравнению с используемыми в данный момент на предприятиях Республики Беларусь электромашинными генераторами до 16 500 кВт·ч за год при двухсменной работе.

15.10.10.

### Литература

1. Бабат, Г.И. Индуцированный нагрев металлов и его промышленное применение / Г.И. Бабат. – М.: Энергия, 1965. – 552 с.
2. Беркович, Е.И. Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок / Е.И. Беркович. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
3. Шамов, А.Н. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок / А.Н. Шамов, В.А. Бодажков. – Л.: Машиностроение, 1974. – 280 с.

УДК 621.928.37

**А.В. Пашкевич**

(УО «БГСХА»,

г. Горки, Республика Беларусь)

### **ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ТРЕХПРОДУКТОВОГО ГИДРОЦИКЛОНА ДЛЯ ОЧИСТКИ МОЮЩИХ РАСТВОРОВ**

#### **Введение**

На ремонтных предприятиях для очистки поверхностей изделий от загрязнений используются моющие растворы и моченные воды. При работе они насыщаются смываемыми твердыми загрязнениями и нефтепродуктами, что приводит к потере моющей способности раствора. В большинстве случаев предприятия сливают загрязненный моющий раствор в канализацию, что наносит значительный ущерб окружающей среде. Авторы многих работ [1, 2] считают, что для сокращения объемов сточных вод предприятия и уменьшения наносимого окружающей среде ущерба необходима технологическая очистка моющего раствора в процессе его использования.

#### **Основная часть**

Проведенные многими авторами исследования по применению различных методов очистки моющих средств показывают, что механическая очистка в поле центробежных сил является наиболее перспективной, так как позволяет очищать моющие растворы, не изменяя их физико-химических свойств. Наиболее простыми и эффективными аппаратами, обеспечивающими создание мощных центробежных полей, являются напорные гидроциклоны. Впервые конструкция гидроциклона была предложена А.И. Востоковым в 1926 году.

Для очистки моющих растворов от накапливаемых загрязнений – твердых частиц и нефтепродуктов, применяются трехпродуктовые гидроциклоны.